

明 細 書

永久磁石電動機

技術分野

- [0001] 本発明は、回転子鉄心の内部に複数の永久磁石を埋め込んで構成された回転子を有する永久磁石電動機に関する。

背景技術

- [0002] 回転子鉄心に永久磁石を埋設することによって、減磁耐力に優れ、効率を高めた永久磁石電動機が開示されている(例えば、特開平11-187597号公報参照。)。図11は、この永久磁石電動機の回転子を、その回転軸が挿入される前における回転軸挿入方向から見た端部の側面図である。図11において、回転子2は、外形形状が円形の鋼板を全体として柱状に積層してなる回転子鉄心2aと、図示を省略した回転軸とで構成されている。回転子鉄心2aは外周に近い略正八角形の各辺に対応する部位に永久磁石収容孔5が形成され、これらの永久磁石収容孔5にそれぞれ永久磁石4が埋め込まれている。これらの永久磁石4は、N極とS極とが交互になるように着磁されている。各永久磁石収容孔5の外側の外周部鉄心3には、径方向に細長く、永久磁石収容孔5に沿って複数のスリット孔6が相互に離隔して設けられている。そして、この回転子鉄心2aの中心部に、回転軸を挿入するための回転軸孔8を備えている。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0003] 上述した従来の永久磁石電動機の回転子鉄心2aに設けられたスリット孔6は等間隔に配置され、これによって、永久磁石4の磁束を径方向に導出、入させると共に、固定子巻線電流によって生じた磁束(以下、電機子反作用磁束と称する)が外周部鉄心3の周方向に回り込まないようにしている。
- [0004] しかしながら、複数のスリット孔6を等間隔に配置した場合、永久磁石4による周方向の磁束分布が台形状になる。このため、固定子と回転子との幾何学的位置関係によって生じるコギングトルクが大きくなり、振動が大きくなるという問題がある。

- [0005] また、固定子巻線に誘起される電圧は高調波を多く含んだ歪み波形となり、騒音の増大を招くほか、鉄損の増大による効率低下をもたらすという問題もある。
- [0006] さらに、固定子に3相正弦波交流を供給して駆動する場合、トルクとして有効に寄与するのは基本波成分のみで、高調波成分はトルクリップルとなることから、このトルクリップルによって振動や騒音が増大するという問題がある。
- [0007] 本発明は、上記の事情を考慮してなされたもので、電機子反作用磁束を軽減すると共に、外周部鉄心の磁束分布を改善することにより、騒音や振動の少ない高効率な永久磁石電動機を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 上記目的達成のため、本発明では、請求項1ないし5に記載の永久磁石電動機を提供する。
- 請求項1に係る発明は、
- 鋼板を全体として柱状に積層した回転子鉄心と、この回転子鉄心中にその軸心を中心とする略正多角形の各辺に対応する部位に形成された永久磁石収容孔と、永久磁石収納孔にそれぞれ挿入された永久磁石と、永久磁石収容孔の外周部鉄心に形成され、径方向に細長く、かつ、各永久磁石収容孔に沿って離隔配置された複数のスリット孔とを備えてなる永久磁石電動機において、
- スリット孔の径方向外側端のピッチを略等しくし、径方向内側端のピッチを永久磁石の中央部を大きくし、中央部から端部に離れるに従って小さくした、
- ことを特徴とするものである。
- [0009] 請求項2に係る発明は、請求項1に記載の永久磁石電動機において、永久磁石の各辺部を正弦波の底辺に対応させ、スリット孔の径方向内側端のピッチを、正弦波の高さに比例させたことを特徴とする。
- [0010] 請求項3に係る発明は、請求項2に記載の永久磁石電動機において、 n を正の整数として、回転子の磁極数が $2n$ 個で、それぞれ導線が集中巻きされてなる固定子の歯数が $3n$ 個であり、永久磁石の各辺部を中央方向に縮めた部位に正弦波の底辺に対応させたことを特徴とする。
- [0011] 請求項4に係る発明は、請求項1に記載の永久磁石電動機において、スリット孔の

径方向外側端と回転子鉄心の外周との間の鉄心幅を、永久磁石の中央部に対応する部位を、両側部よりも大きくしたことを特徴とする。

- [0012] 請求項5に係る発明は、請求項1に記載の永久磁石電動機において、永久磁石収容孔の径方向外側端とスリット孔の径方向内側端との間の鉄心幅、並びに、スリット孔の径方向内側端と回転子鉄心の外側との間の鉄心幅を、それぞれ鋼板の厚みの1乃至3倍としたことを特徴とする。

発明の効果

- [0013] 本発明によれば、電機子反作用磁束が軽減され、さらに、外部鉄心の磁束分布も改善されるため、騒音や振動の少ない高効率の永久磁石電動機が提供される。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]本発明に係る永久磁石電動機の第1の実施形態として、回転軸が挿入される前における回転軸挿入方向から見た回転子の端部の側面図。
- [図2]本発明に係る永久磁石電動機の第2の実施形態として、回転軸が挿入される前における回転軸挿入方向から見た回転子の端部の側面図。
- [図3]図2に示した回転子鉄心の外周部鉄心に形成されるスリット孔の径方向内側端のピッチを詳細に説明するための部分拡大図。
- [図4]図2に示した回転子鉄心の外周部鉄心に形成されるスリット孔の径方向内側端のピッチを決定するための波形図。
- [図5]本発明に係る永久磁石電動機の第3の実施形態として、回転子及び固定子の端部の側面図。
- [図6]図5に示した回転子鉄心の外周部鉄心に形成されるスリット孔の径方向内側端のピッチを決定するための波形図。
- [図7]図5に示した回転子鉄心に発生する磁束分布図。
- [図8]本発明に係る永久磁石電動機の第4の実施形態として、回転軸挿入方向から見た回転子の端部の部分拡大側面図。
- [図9]図8に示す第4の実施形態の動作を説明するための誘起電圧波形図。
- [図10]各実施形態に係る永久磁石電動機を駆動する駆動回路図。
- [図11]従来の永久磁石電動機の回転子を、その回転軸が挿入される前における回

転軸挿入方向から見た端部の側面図。

発明を実施するための最良の形態

[0015] 以下、本発明を図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。

図1は、本発明に係る永久磁石電動機の第1の実施形態として、回転軸が挿入される前における回転軸挿入方向から見た回転子の端部の側面図である。図中、従来装置を示す図11と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。ここで、回転子2は、外形形状が円形の鋼板を全体として柱状に積層してなる回転子鉄心2Aと、図示を省略した回転軸とで構成されている。

[0016] 回転子鉄心2Aは、外周に近い略正四角形の各辺に対応する部位に永久磁石収容孔5が形成され、これらの永久磁石収容孔5にそれぞれ永久磁石4が埋め込まれている。各永久磁石収容孔5の外側の外周部鉄心3には、径方向に細長く、永久磁石収容孔5に沿って複数の、例えば、10個のスリット孔6が相互に離隔して設けられている。そして、この回転子鉄心2Aの中心部に回転軸を挿入するための回転軸孔8が設けられ、その周囲に通しボルト用孔9が設けられている。

[0017] この実施形態は、スリット孔6の径方向外側端のピッチが回転子鉄心2Aの外周に沿って略等しくされ、径方向内側端のピッチが永久磁石4の中央部に対応する位置において大きくされ、中央部から端部に離れるに従って小さくされたものである。

[0018] スリット孔6を上記のように配置することによって、スリット孔6間の磁極鉄心を通る永久磁石4の磁束は、永久磁石4に近いスリット孔6の端部のピッチに略比例することから、外周部鉄心3を通る永久磁石4の磁束分布は、周方向に見てその中央部分が最も大きく、永久磁石4の中央部から端部に行くに従って小さくなる。このため、トルクを発生する有効磁束が増大すると共に、磁束が台形状に分布する場合と比較して高調波磁束が減少して鉄損も減少し、また、コギングトルクの減少により振動を抑制することができる。

[0019] この結果、第1の実施形態によれば、複数のスリット孔により電機子反作用磁束を軽減させ、外部鉄心の磁束分布の改善により、騒音や振動が少なく、高効率の永久磁石電動機が提供される。

[0020] 図2は、本発明に係る永久磁石電動機の第2の実施形態として、回転軸が挿入され

る前における回転軸挿入方向から見た回転子の端部の側面図である。図中、第1の実施形態を示す図1と同一の要素には、同一の符号を付してその説明を省略する。ここに示した回転子鉄心2Bは、永久磁石収容孔5に沿って12個のスリット孔6が相互に離隔して設けられている。この場合、スリット孔6の径方向外側端のピッチが回転子鉄心2Bの外周に沿って略等しくされ、径方向内側端のピッチが、永久磁石4の各辺部を正弦波の底辺に対応させ、スリット孔の径方向内側端のピッチを、正弦波の高さに比例させたものである。

[0021] 図3は、この回転子鉄心2Bの永久磁石4の外周部鉄心3に形成されるスリット孔6の径方向内側端のピッチを詳細に説明するための部分拡大図であり、永久磁石4の長手方向の中央部のピッチをP1とし、中央部から端部に行くに従って順次に小さくなるようにピッチP2, P3, ..., P6, P7を決定したものである。これらのピッチP1〜P7は、図4に示すように、電気角の180度区間に対応させた正弦波(半波)の底辺を永久磁石4の長さWに対応させ、この正弦波を電気角方向に15等分し、等分された中央部の高さをP1とし、その外側の高さを順次にP2, P3, ..., P6, P7としたとき、これらの高さP1〜P7に比例するように、スリット孔6の径方向内側端のピッチP1〜P7を決定したものである。これによって、 $P1 > P2 > P3 > P4 > P5 > P6 > P7$ の関係を持たせると共に、これらのピッチP1〜P7に比例した磁束が通ることから正弦波に近似した磁束分布が得られる。

[0022] この結果、第2の実施形態によれば、複数のスリット孔により電機子反作用磁束を軽減させ、外部鉄心の磁束分布のより一層の改善により、騒音や振動が少なく、高効率の永久磁石電動機が提供される。

[0023] 図5は、本発明に係る永久磁石電動機の第3の実施形態として、回転子及び固定子の端部の側面図であり、特に、回転子2として図3に示す回転子鉄心2Bに類似した回転子鉄心2Cを用いたものである。この場合、nは正の整数である、例えば、2として、回転子2の磁極数が $2n (=4)$ 個で、それぞれ導線7が集中巻きされてなる固定子1の歯数が $3n (=6)$ 個であり、永久磁石4の各辺部を中央方向に縮めた部位に、図4に示す正弦波の底辺に対応させて、スリット孔6の径方向内側端のピッチP1〜P7を決定したものである。

- [0024] 回転子2の磁極数と固定子1の歯数との間で、 $2n:3n$ の関係があるとすれば、回転子2の磁極の角度ピッチに比べて、固定子1の歯の角度ピッチが小さくなるため、固定子1の各相の歯が回転子2の1極分の全磁束を受けることができなくなる。
- [0025] 図6は、このような不具合を解消するための説明図であり、永久磁石4の全長Wを正弦波の底辺にそのまま対応させないで、永久磁石4の両端から所定の寸法だけ内側に縮めた部分に、図4で示したと同様な面積を持つ正弦波を定め、これを等分して得られる高さP1〜P7に比例するように、スリット孔6の径方向内側端のピッチP1〜P7を決定して、回転子鉄心2Cを構成する。これによって、図7に示したように、第2の実施形態では破線の曲線Pに示した磁束分布が、第3の実施形態では実線の曲線Qに示すように立ち上がりが急になり中央部の磁束が強められ、より正弦波に近い磁束分布に変えることができる。これによって、第2の実施形態よりも誘起電圧波形が改善され、電動機の効率を一層高めることができる。
- [0026] この結果、第3の実施形態によれば、複数のスリット孔により電機子反作用磁束を軽減させ、外部鉄心の磁束分布のより一層の改善により、騒音や振動が少なく、高効率の永久磁石電動機が提供される。
- [0027] 図8は、本発明に係る永久磁石電動機の第4の実施形態として、回転軸挿入方向から見た回転子の端部の部分拡大側面図である。図中、図3と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。ここに示した、回転子鉄心2Dは、スリット孔6の径方向外側端と回転子鉄心2Dの外周との間の鉄心幅を、永久磁石の中央部に対応する部位のみ例えば、d2のように大きくし、中央部から離れた部位は、例えば、d1のように小さくしたものである。以下に、その理由を説明する。
- [0028] スリット孔6の径方向外側端と回転子鉄心の外周との間の鉄心幅を全て等しくすると、図9に示すように、磁束の大きい中央部において、誘起電圧波形に振幅の小さな振動、すなわち、波打ちが現れることがある。これは、磁束の強さに対して、スリット孔6の径方向外側端と回転子鉄心の外周との間の鉄心幅が狭すぎるために磁気抵抗が大きくなっているためと考えられる。この実施形態に係る回転子鉄心2Dは、磁束分布の波打ちが顕著に現れる磁極の中心付近のみ、スリット孔6の径方向外側端と回転子鉄心2Dの外周との間の鉄心幅d2を、これ以外の部位の鉄心幅d1より大きく

することにより、スリット孔6による磁束分布制御の効果を損なうことなく誘起電圧の波打ちを防止している。

- [0029] この結果、第4の実施形態によれば、複数のスリット孔により電機子反作用磁束を軽減させ、外部鉄心の磁束分布のより一層の改善により、騒音や振動が少なく、高効率の永久磁石電動機が提供される。
- [0030] 図10は、上述した永久磁石電動機を駆動する駆動回路である。ここで、交流電源10からの交流をコンバータ11で直流に変換し、その直流出力を可変周波数出力のインバータ12で任意周波数の交流に再変換して永久磁石電動機13(以下、電動機13と称する)に供給する。電動機13の端子電圧に基づいて位置検出部14により電動機13の回転子位置を検出し、それを位置信号として制御部15に送出する。制御部15は、位置信号を用いて、インバータ12の出力周波数が電動機13の回転周波数と同期するようにインバータ12を制御する。なお、電動機13は実質的に3相同期電動機であって、それに対応してインバータ12も3相ブリッジ型に構成され、U、V、W各相の正側アームはU⁺、V⁺、W⁺で示され、負側アームはU⁻、V⁻、W⁻で示されている。図示の回路構成により、直流式の無整流子電動機が構成されている。なお、電動機回転子位置を電動機端子電圧に基づいて検出する方式は、センサレス方式または間接式位置検出方式と言われるものである。
- [0031] 電動機13の各相巻線には、周知のごとく各瞬時には、いずれか一つの相の正側アームと他の一つの相の負側アームとが対をなしてオン動作し、他の各アームはオフ状態にある。オンすべきアームを3相間で順次切り換えることによって、インバータ12から所望の3相出力が電動機13に与えられる。これによって、固定子に3相正弦波交流を供給して駆動することができる。
- [0032] なお、永久磁石收容孔5の径方向外側端とスリット孔6の径方向内側端との間の鉄心幅、並びに、スリット孔6の径方向外側端と回転子鉄心の外周との間の鉄心幅は、周方向に磁束が回り込むことを防ぐという観点からすればできるだけ狭い方が望ましいが、鋼板の打ち抜きにある程度余裕があることが望ましく、また、前述した波打ちを減少させるためには、電磁鋼板の板厚の1乃至3倍とすることが適切である。
- [0033] また、上記実施形態では、回転子鉄心中にその軸心を中心とする正四角形の各辺

に対応する部位に永久磁石を埋め込んだ構成のものについて説明したが、本発明はこれに適用を限定されるものではなく、回転子鉄心中にその軸心を中心とする略正多角形の各辺に対応する部位にそれぞれ永久磁石を埋め込んで回転子を構成する殆どの永久磁石電動機に適用することができる。

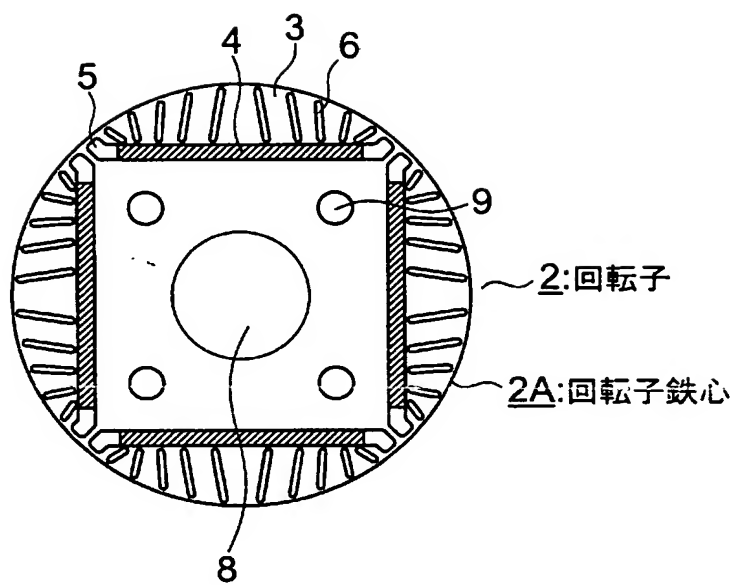
- [0034] さらに、上記の各実施形態では、外周部鉄心3に10個又は12個のスリット孔6を備えるものについて説明したが、正弦波と関連付けてスリット孔を配置する関係上4個以上のスリット孔6を備えるものであれば、これらの全てに本発明を適用することができる。

請求の範囲

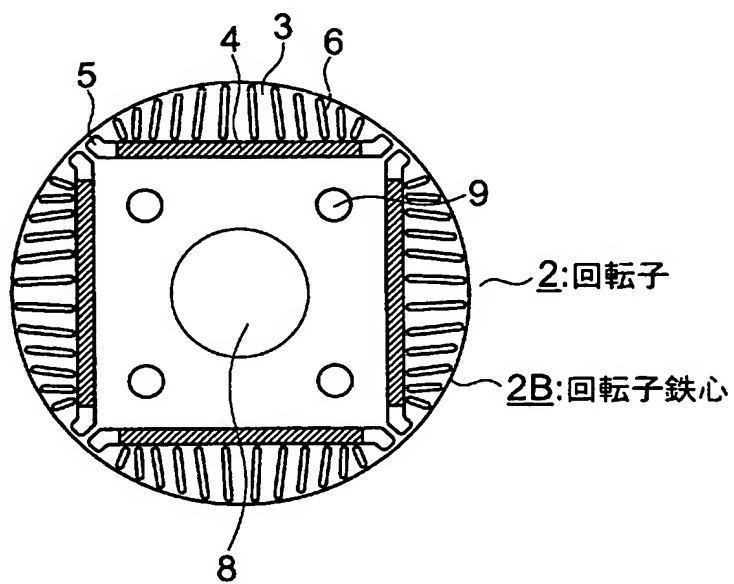
- [1] 鋼板を全体として柱状に積層した回転子鉄心と、この回転子鉄心中にその軸心を中心とする略正多角形の各辺に対応する部位に形成された永久磁石収容孔と、前記永久磁石収容孔にそれぞれ挿入された永久磁石と、前記永久磁石収容孔の外周部鉄心に形成され、径方向に細長く、かつ、前記永久磁石収容孔の各々に沿って離隔配置された複数のスリット孔とを有する回転子をそなえた永久磁石電動機において、
- 前記スリット孔は、径方向外側端のピッチが略等しく、径方向内側端のピッチが前記永久磁石の中央部に対応する位置では大きく、端部に向かって離れていくに連れて小さくされた、
- ことを特徴とする永久磁石電動機。
- [2] 請求項1記載の永久磁石電動機において、
- 前記永久磁石の各辺部を正弦波の底辺に対応させたとき、前記スリット孔の径方向内側端のピッチは、前記正弦波の高さに比例したことを特徴とする永久磁石電動機。
- [3] 請求項2記載の永久磁石電動機において、
- n を正の整数とすると、回転子の磁極数が $2n$ 個で、それぞれ導線が集中巻きされてなる固定子の歯数が $3n$ 個であり、前記永久磁石の各辺部を中央方向に縮めた部位に前記正弦波の底辺が対応したことを特徴とする永久磁石電動機。
- [4] 請求項1記載の永久磁石電動機において、
- 前記スリット孔の径方向外側端と前記回転子鉄心の外周との間の鉄心幅を、前記永久磁石の中央部に対応する部位は、両側部よりも大きくしたことを特徴とする永久磁石電動機。
- [5] 請求項1記載の永久磁石電動機において、
- 前記永久磁石収容孔の径方向外側端と前記スリット孔の径方向内側端との間の鉄心幅、並びに、前記スリット孔の径方向外側端と前記回転子鉄心の外周との間の鉄心幅は、それぞれ前記鋼板の厚みの1乃至3倍であることを特徴とする永久磁石電動機。
- [6] 請求項1記載の永久磁石電動機において、

前記スリット孔は、前記永久磁石孔1つに沿って少なくとも4個設けられている永久磁石電動機。

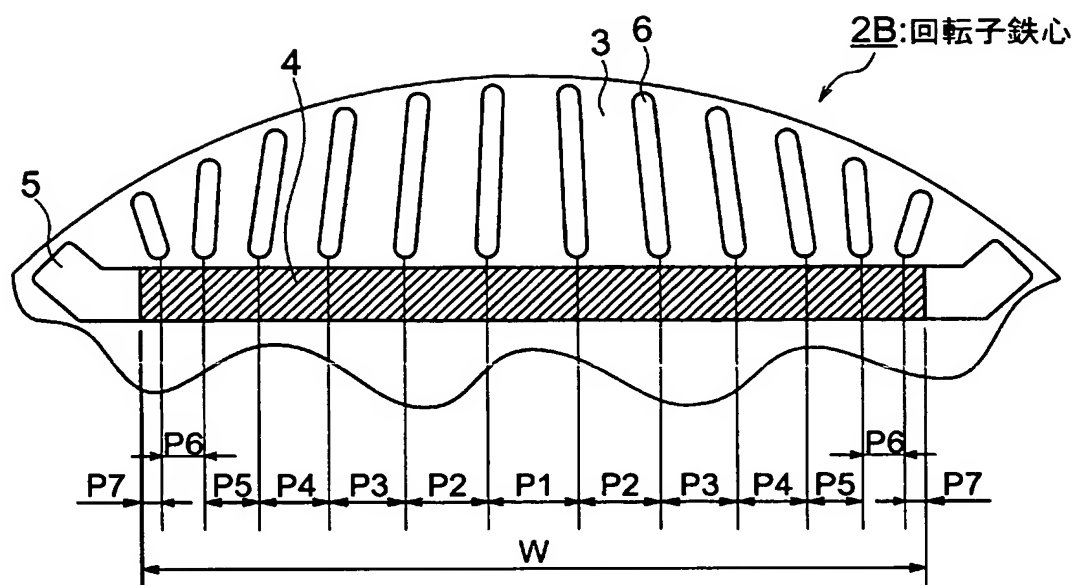
[図1]



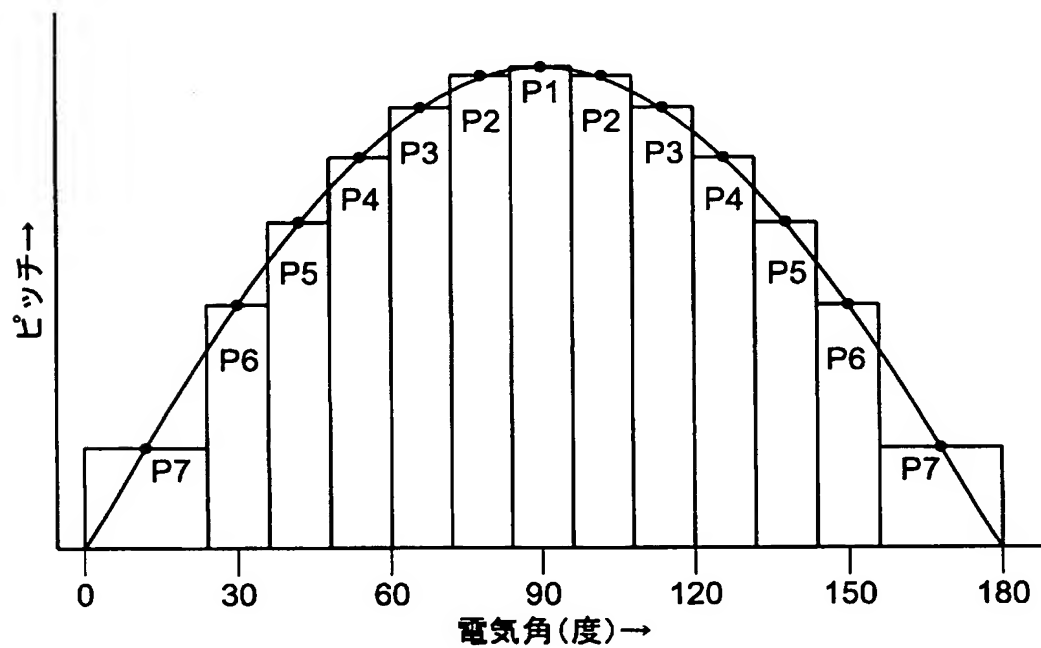
[図2]



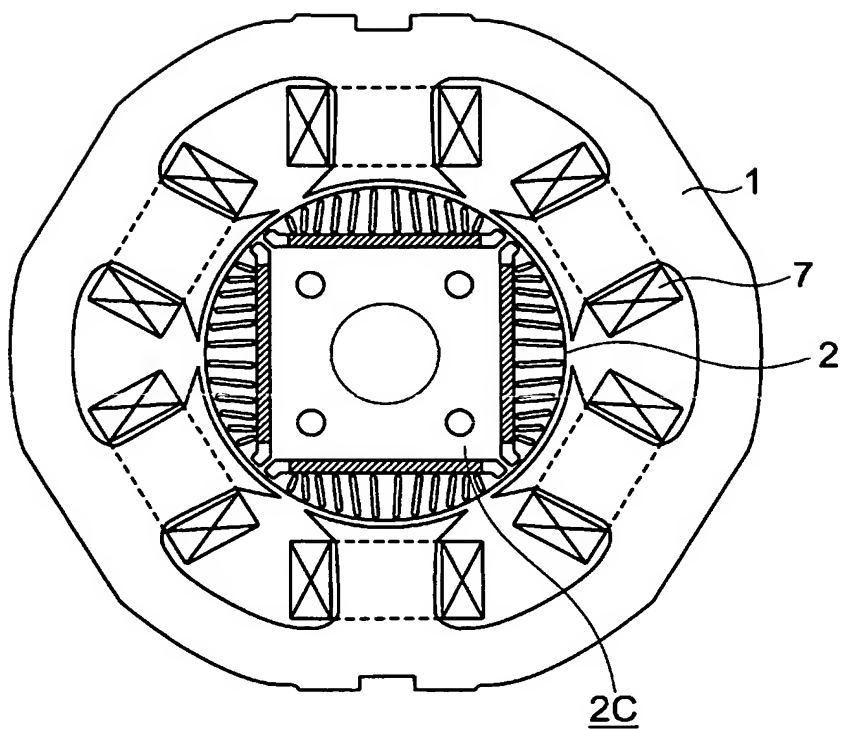
[図3]



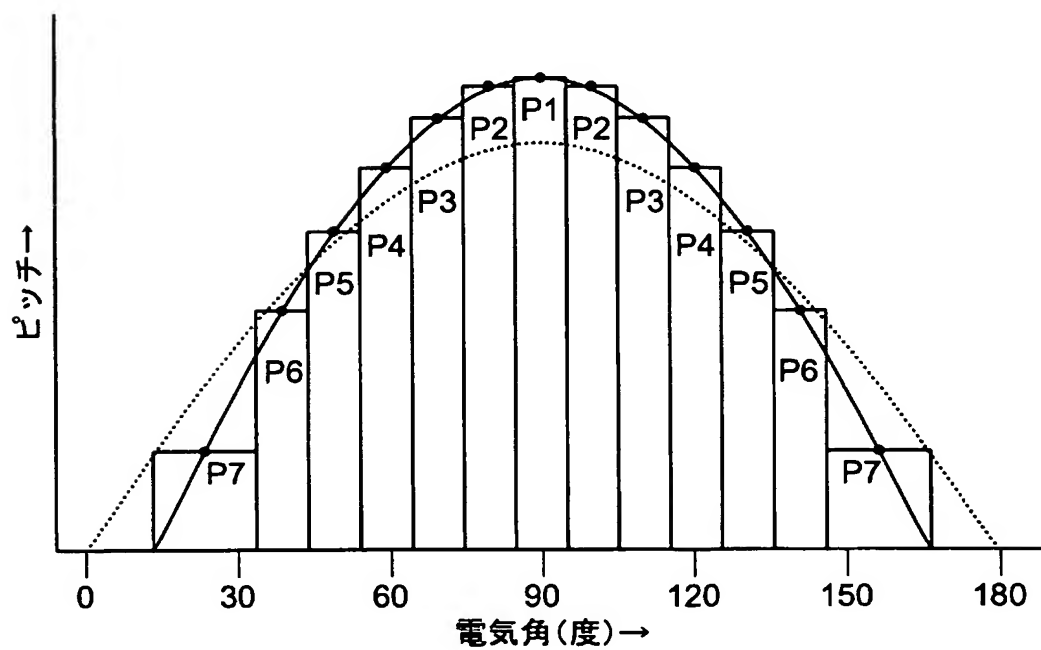
[図4]



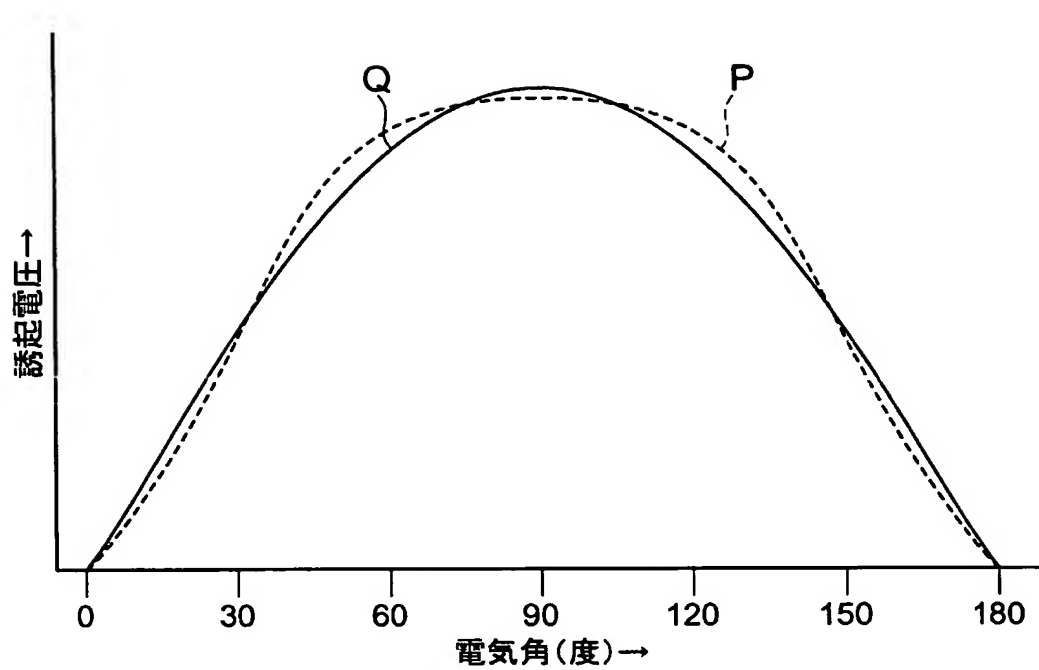
[図5]



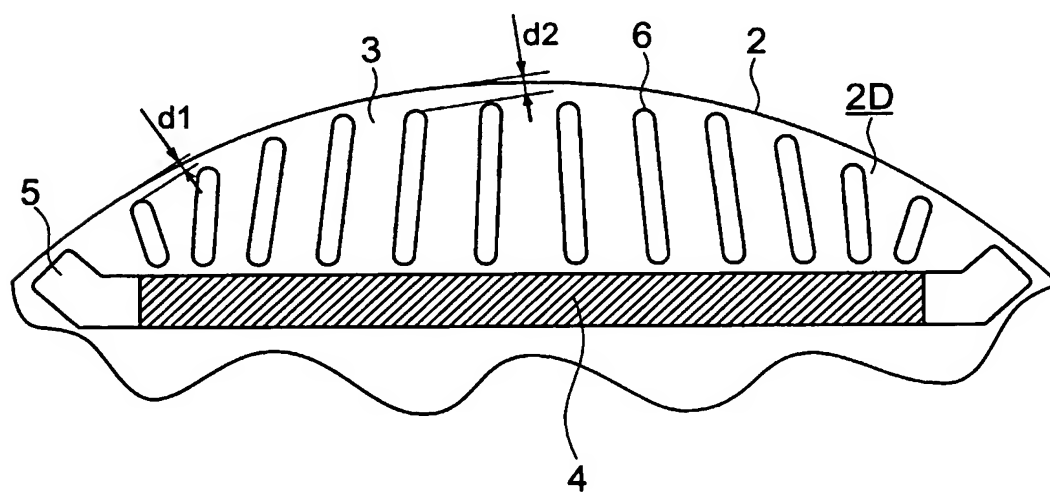
[図6]



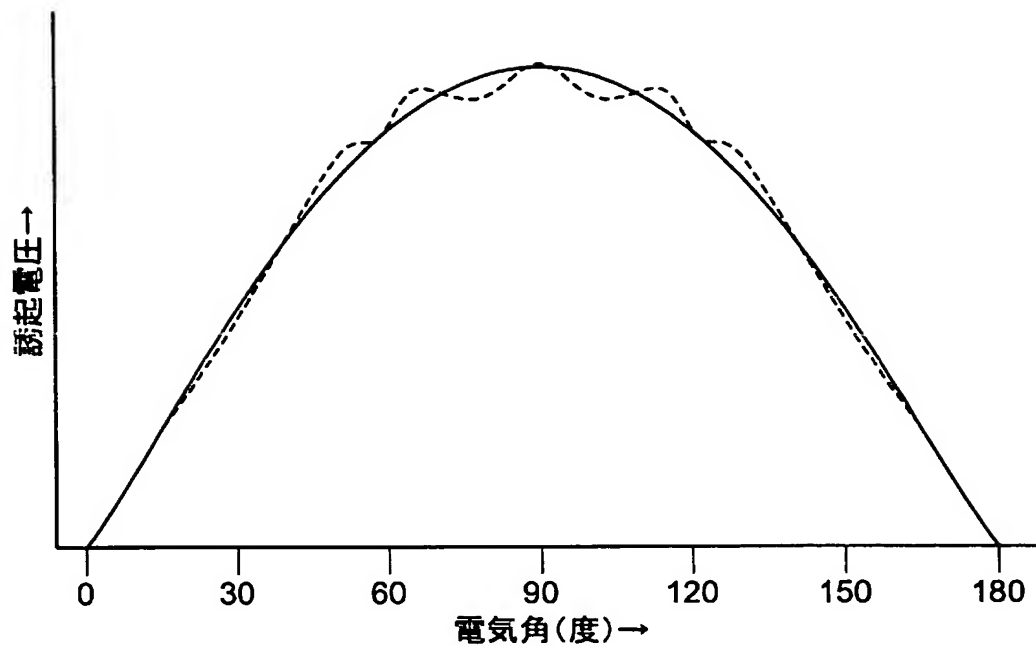
[図7]



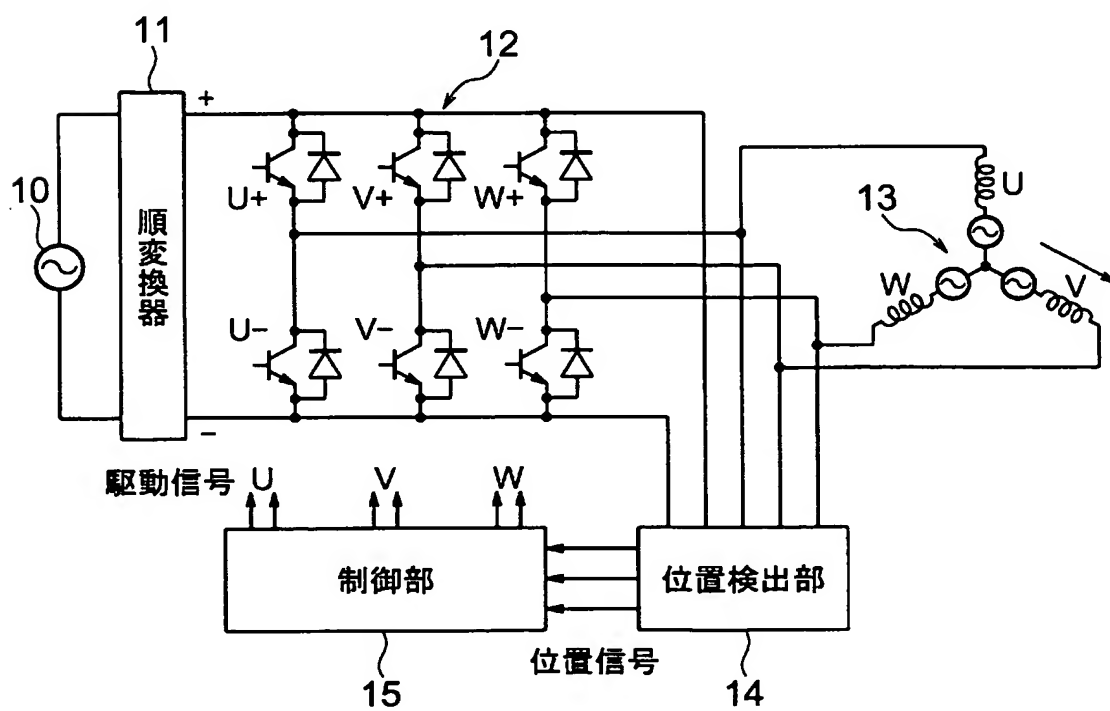
[図8]



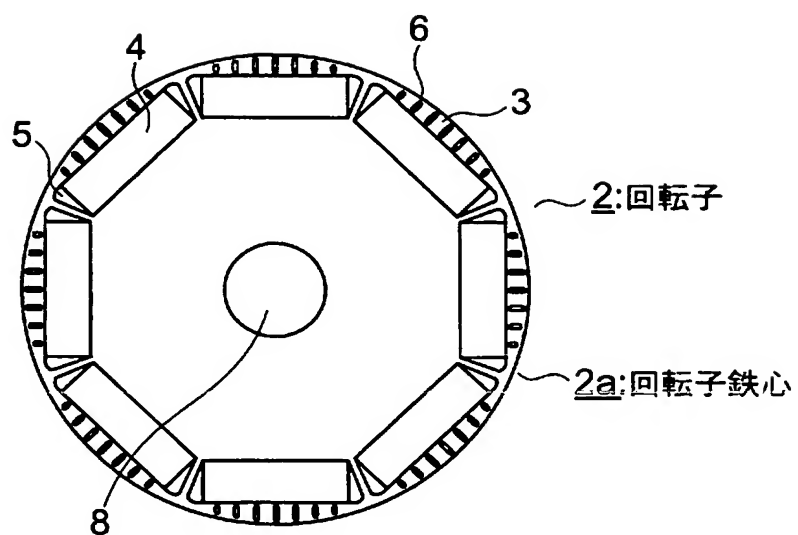
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010700

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H02K1/27

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H02K1/27

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-187597 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 09 July, 1999 (09.07.99), All pages (Family: none)	1-6
A	JP 2002-84690 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 22 March, 2002 (22.03.02), All pages (Family: none)	1-6
A	JP 2001-37186 A (Toshiba Carrier Corp.), 09 February, 2001 (09.02.01), All pages (Family: none)	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 October, 2004 (18.10.04)

Date of mailing of the international search report
02 November, 2004 (02.11.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02K 1/27

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02K 1/27

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996

日本国公開実用新案公報 1971-2004

日本国登録実用新案公報 1994-2004

日本国実用新案登録公報 1996-2004

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-187597 A (松下電器産業株式会社), 09.07.1999, 全頁 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2002-84690 A (三菱重工業株式会社), 22.03.2002, 全頁 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2001-37186 A (東芝キヤリア株式会社), 09.02.2001, 全頁 (ファミリーなし)	1-6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.10.2004

国際調査報告の発送日

02.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三島木 英宏

3V

3018

電話番号 03-3581-1101 内線 3356